

Ponieważ jednak przy rysowaniu krzywej nie znamy jeszcze v_s najlepiej wartość n określić z zależności, wynikającej ze stosunku po-

danego w wierszu 5, mianowicie
$$n = \frac{2 \left(\frac{r_m}{r_a} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_m}{r_a} \right)^2}.$$
 Po znalezieniu

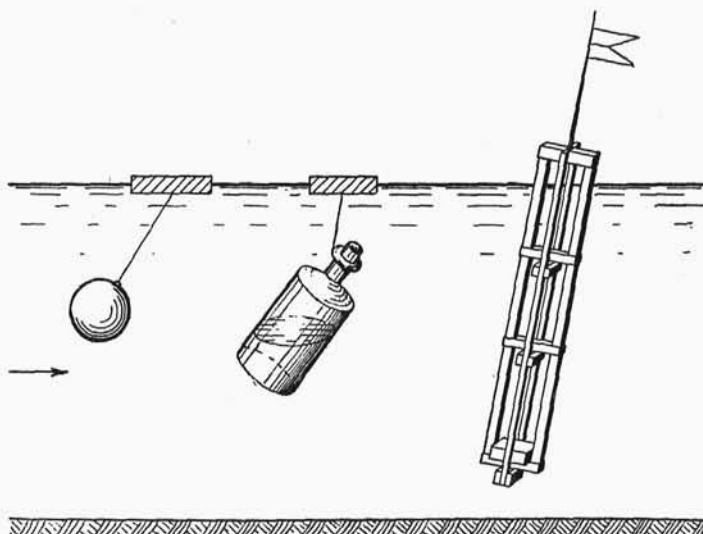
n można z wiersza 8 i 9 wziąć stosunek prędkości w odległości $0,01 r_a$ i $0,001 r_a$ od ściany przewodu do prędkości v_m przez co można dokładnie wykreślić krzywą prędkości w pobliżu ściany przewodu.

3. Przyrządy do pomiaru prędkości na powierzchni

1. Pływaki.

Są to pierwsze przyrządy, którymi przeprowadzano pomiary prędkości wody. Pływaki stosuje się do pomiarów orientacyjnych przepływu oraz do pomiarów wód wielkich, kiedy chodzi o szybki i bezpieczny pomiar.

Ze względu na działanie wiatru pływaki powinny wystawać możliwie niewiele z wody, z uwagi zaś na to, że większe ciała płyną szybciej niż woda, muszą posiadać możliwie małą objętość, przy tym jednak powinny być dobrze widoczne.

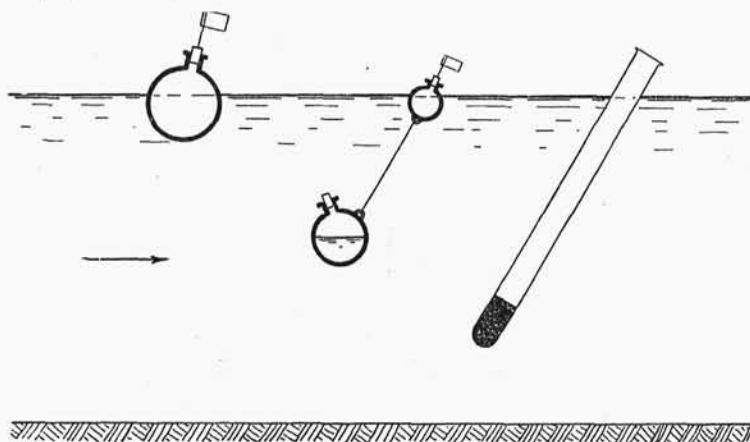


Rys. 279 a.

Pływaki.

Pływaki powierzchniowe (rys. 279 a) wykonywane są z kawałków drzewa, butelek, kul szklanych itp. Użycie ich jest możliwe tylko w czasie pogody bezwietrznej.

Do określania prędkości w pewnej głębokości pod zwierciadłem wody używa się pływaków tak skonstruowanych, że ich część zasadnicza płynie pod wodą w żądanej głębokości. Wykonywane są w postaci kul 10...20 cm średnicy, odpowiednio napełnionych wodą i w ten sposób obciążonych (rys. 279 b). Całkowitemu zatonięciu przeciwdziała połączony z kulą drugi pławak pływający po powierzchni. Pławak powierzchniowy i połączenie powinno dawać jak najmniejszy opór, gdyż w niektórych wypadkach istnieje zbyt duży wpływ prędkości powierzchniowej.



Rys. 279 b,
Pływaki.

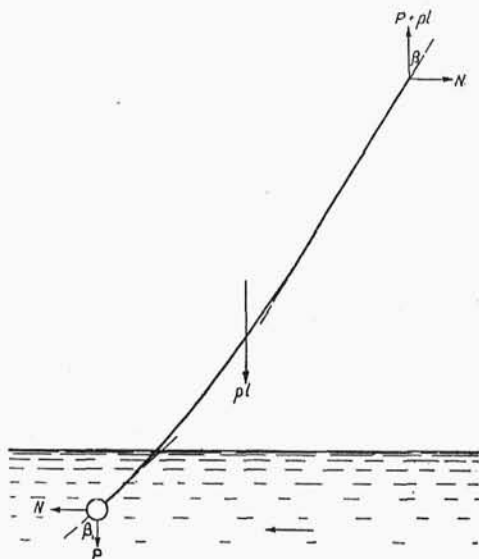
Do określania prędkości średnich w pionowych używa się pływaków w postaci sztab, obciążanych u dołu i zawieszonych w wodzie prawie pionowo. Używając tego rodzaju pływaków, ważną jest rzeczą, aby odcinek wybrany do pomiaru miał równomierną głębokość, gdyż od tego zależy dokładność pomiaru. Przy odpowiednim wyborze miejsca pomiaru otrzymamy co najwyżej o 5% za duże prędkości w stosunku do określanych młynkami. Przepisy amerykańskie podają następujący wzór do obliczenia prędkości średniej v_s z prędkości pomierzonej pływakami:

$$v_s = v_r \left(1,012 - 0,116 \sqrt{\frac{h_1}{h}} \right) \text{ m/sek} \quad (123)$$

gdzie v_r jest to prędkość pływaka, h — całkowita głębokość wody
 h_1 — odległość dolnego końca pływaka od dna.

2. Kula zawieszona na lince.

Centralne Biuro Hydrograficzne w Polsce rozpowszechnia kulę zawieszoną na lince według konstrukcji K. Dębskiego i O. Fausta¹²³⁾ jako przyrząd do mierzenia prędkości powierzchniowej (w metodzie uproszczonej przy pomiarze wód wielkich). Przyrząd ten bardzo prosty i tani pozwala przeprowadzać pomiary orientacyjne szybko, masowo i przy pomocy personelu, od którego nie wymaga się specjalnego uzdolnienia.



Rys. 280.

Kula zawieszona na lince.

Zasada pomiaru polega na tym, że kula opuszczona na lince w płynącą wodę wskutek naporu wody N powoduje odchylenie linki od kierunku pionowego (rys. 280). Znając wagę kuli P , linki pl , kąt odchylenia β stycznej do linki w punkcie zawieszenia oraz pewien współczynnik, można określić prędkość wody z zależności:

$$v = c \operatorname{tg}^{0,67} \beta \quad \text{m/sek} \quad (124)$$

gdzie c — współczynnik, którego wartość określić należy przez wycechowanie przyrządu. Według doświadczeń przeprowadzonych przez K. Dębskiego i O. Fausta c zależy od ciężaru użytej do pomiaru kuli i ma następujące wartości:

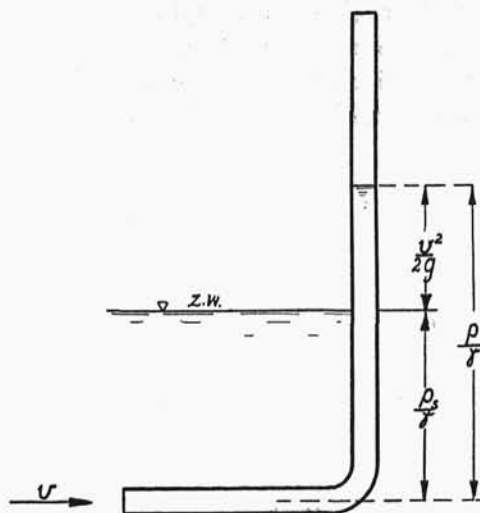
ciężar kuli $P =$	4	6	12	kg
współczynnik $c =$	3,09	4,61	10,57	

¹²³⁾ K. Dębski. Zastosowanie kul na zawieszeniu do pomiarów przepływu. Wiadomości Służby Hydrograficznej. 1935. Zesz. 1.

Sama czynność pomiarowa, prócz zwykłego sondowania, polega najpierw na ustawieniu statywu przenośnego na moście lub kładce nad odpowiednio obranymi punktami profilu; na statywie tym podwiesza się kulę na linie stalowej. Następnie opuszcza się kulę 20 cm pod zwierciadło wody (głębokość zanurzenia kuli poznaje się po pozycji pływaka przywiązanej do linki stalowej cienkim sznurkiem w odległości 20 cm od środka kuli). Ostatnią czynnością pomiarową jest odczytanie kąta odchylenia.

4. Rurka Pitota

Przyrząd ten stanowi rurka zakrzywiona u dołu pod kątem 90° (rys. 281). Zależnie od ustawienia w wodzie zagiętego końca w stosunku do kierunku przepływu woda w rurce wzniesie się na pewną wysokość ponad zwierciadło wody, utrzyma się na tym samym poziomie lub opadnie. Przy ustawieniu zagiętego końca rurki równo-



Rys. 281.
Rurka Pitota.

legle do kierunku strug wody można różnicę poziomów wody obliczyć teoretycznie przez zastosowanie równania Bernoullego. Wysokość ta wynosi $\frac{\rho v^2}{2}$. Jeżeli oznaczmy przez p_s ciśnienie statyczne w punkcie umieszczenia otworu rurki, to całkowite ciśnienie

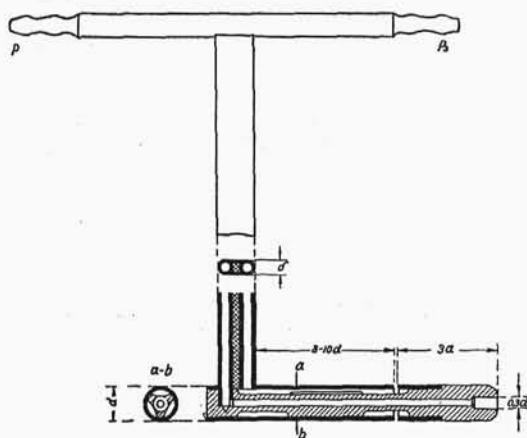
wyniesie $p = p_s + \frac{\rho v^2}{2}$. Znając ciśnienie statyczne możemy określić prędkość wody z zależności

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_s)} \quad \text{m/sek}$$

ρ oznacza tu gęstość cieczy, a więc $\rho = \frac{\gamma}{g}$.

Przyrząd składa się z dwóch rurek połączonych ze sobą: jedna zagięta w kierunku przeciw prądowi, druga—prosta—z otworem u dołu. Różnica poziomów wody w obu rurkach wykazuje wysokość prędkości, z której łatwo określić prędkość przepływu w danym punkcie.

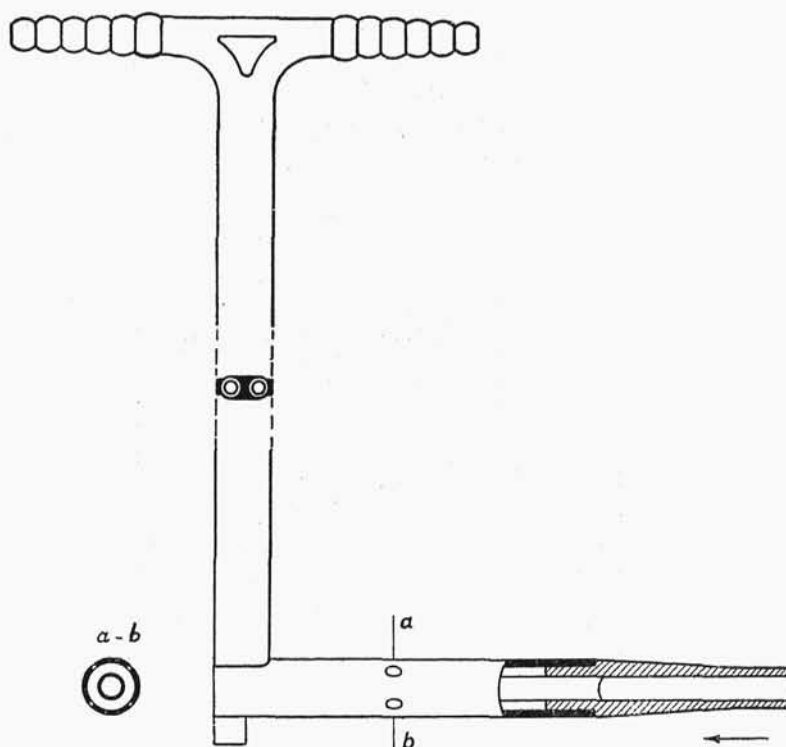
Ponieważ wysokość wzniesienia się zwierciadła wody $\rho \frac{v^2}{2}$ (zwłaszcza przy prędkościach niewielkich) jest bardzo mała, w celu powiększenia dokładności odczytu konstruowano początkowo przyrząd Pitota w ten sposób, że jedna rurka zagięta była przeciw prądowi, druga w kierunku odwrotnym. W ten sposób teoretycznie zwiększa się dwukrotnie wielkość odczytu ($v = \sqrt{2g(h_1 + h_2)}$ m/sek). Z uwagi jednak na zaburzenia powstające przy zagiętym końcu drugiej rurki, współczynniki redukcyjne nie są zbyt pewne (zwłaszcza przy ruchu bardziej burzliwym) i obecnie konstrukcji takiej nie używa się.



Rys. 282.
Rurka Prandtla.

Dawne konstrukcje wymagały cechowania rurek, gdyż wartość współczynnika redukcyjnego jest zmienna przy różnych prędkościach wody. Obecnie używane konstrukcje Prandtla (rys. 282), Brabbéego

(rys. 283) są o tyle ulepszone, że cechowanie rurek nie jest potrzebne, gdyż współczynnik równy jest jedności. Otwór, połączony z ramieniem manometru mierzącym ciśnienie statyczne (p_s), jest na tyle odsunięty od początku rurki (tj. od wlotu do ramienia mierzącego ciśnienie p), by nie powstawały tam podciśnienia, lecz zawsze istniało faktyczne ciśnienie statyczne. Wielkości poszczególnych części przyrządu nie są bez wpływu na rezultaty pomiarów, więc też ustalane są na podstawie długotrwałych badań.



Rys. 283.
Rurka Brabbégo.

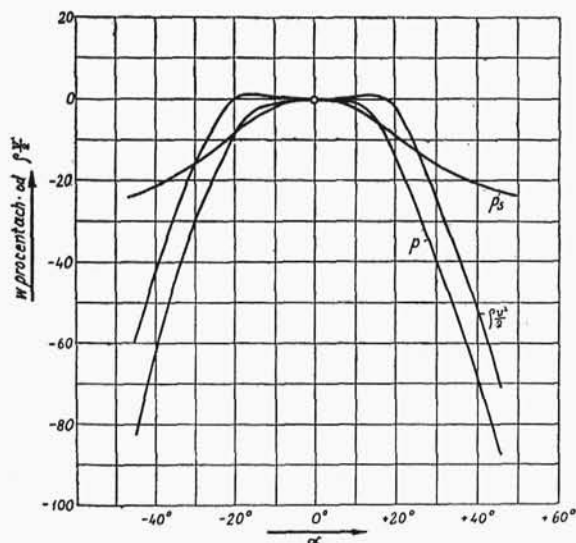
Należy zwrócić uwagę, że przy szybkich wahaniach (zmianach) prędkości wody, płynącej stale w tym samym kierunku, odczyt manometru nie odpowiada wartości średniej prędkości u , gdyż w rzeczywistości określane są nie ciśnienia, lecz wartości średnie kwadratu prędkości $v^2 = (u + \epsilon)^2 = u^2 + 2u\epsilon + \epsilon^2$. Ma to duże znaczenie przy burzliwym ruchu wody. Średnia z wartości czasowych $2u\epsilon$ jest zerem, wartość jednak ϵ^2 jest stale większa od zero, wobec czego v mierzone rurką Pitota przy pulsującym ruchu wody

wypada zwykle za duże. Jeżeli np. zmienia się prędkość wody w małych odstępach czasu o $\pm 20\%$, to odczytana wartość średnia kwadratu prędkości (v^2) jest równa

$$v^2 = u^2 \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{u^2} \right) = u^2 (1 + 0,04)$$

skąd otrzymamy $v = 1,02 u$ wartość o 2% za dużą. Przy bardzo burzliwym ruchu otrzymuje się wartości do 10% za duże.

Konstrukcja Prandtla posiada jeszcze tę zaletę, że wskazania prędkości w dużym stopniu są niezależne od kąta α , jaki tworzą strugi wody z kierunkiem rurki. Ciśnienia p_s i p jak wskazuje rys. 284 zmieniają się przy wzroście kąta α dość znacznie, jednak w stopniu takim, że różnicę $p - p_s$, którą mierzymy, aż do $\alpha = 17^\circ$ w praktyce można uważać za stałą.

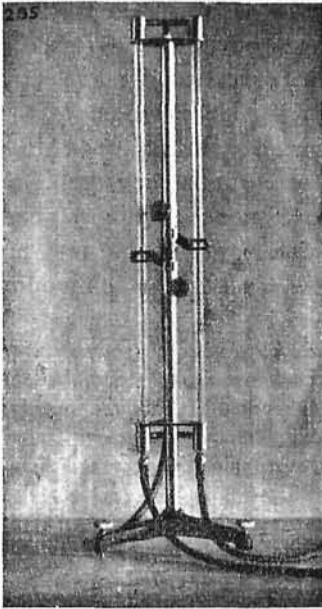


Rys. 284.

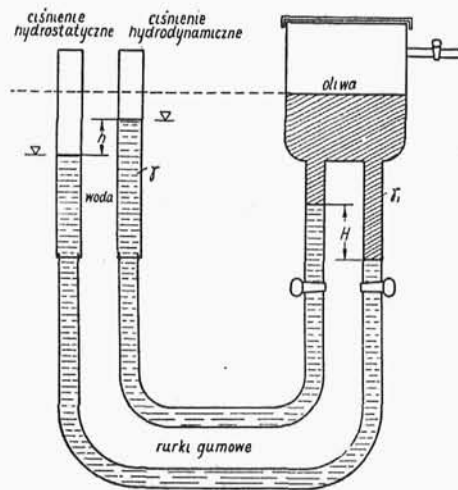
Zależność $(p - p_s)$ od kąta α .

Instrument pomiarowy składa się z właściwej rurki i z manometru, mającego dwa ramiona odpowiadające rurkom do mierzenia ciśnienia p_s i p (porów. oznaczenia na rys. 282). Ramiona te często oznaczone są znakami — i +, przy czym + umieszcza się na ramieniu mierzącym ciśnienie p . Ramiona łączą się zwykle przy pomocy przewodu gumowego z rurką (rys. 285). Między obu ramionami manometru istnieje połączenie u dołu zamykane, u góry bez zamknięcia, oraz zamykany otwór łączący manometr z zewnętrznym powietrzem. Po

wstawieniu rurki do wody i przyłączeniu jej do manometru dolne połączenie jest otwarte. Do otworu górnego dołączamy pompkę i wysysamy część powietrza z rurek manometrycznych dla podciągnięcia słupa wody na wysokość taką, by obserwatorowi było wygodnie odczytywać. Po dokonaniu tego zamykamy otwór górny oraz połączenie dolne ramion manometru. Poziomy wody ustalą się wówczas odpowiednio do prędkości przepływu.



Rys. 285.
Manometr.



Rys. 286.
Manometr o zwiększonej dokładności odczytu,
stosowany do pomiarów mniejszych prędkości.

Dla zwiększenia dokładności odczytu, tj. w celu zwiększenia różnicy wysokości słupa wody w obu ramionach manometru, można napęlnić ich górną część (wypełnioną zwykle powietrzem) cieczą o innym ciężarze gatunkowym niż woda (rys. 286). Stosuje się to zwykle przy pomiarach mniejszych prędkości. Jako ciecz wypełniającą używa się często carbon tetrachlorid.

Jeżeli h jest różnicą słupa wody o ciężarze właściwym $\gamma = 1$, a H odczytaną różnicą na manometrze przy napęlnieniu cieczą o ciężarze właściwym γ_1 , to otrzymujemy zależność $h\gamma = H\gamma - H\gamma_1$ i stąd

$$H = h \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_1} = h \frac{1}{1 - \gamma_1}. \text{ Jeśli więc użyjemy do wypełnienia ciecz,}$$

której $\gamma_1 = 0,9$ to powiększenie różnicy słupa będzie 10-krotne. W praktyce istnieje jednak duża trudność uchwycenia płaszczyzny styku wody z cieczą. Zwykle następuje przemieszanie obu cieczy na pewnym odcinku.

Dla zwiększenia dokładności odczytu stosowany bywa też manometr o ramionach pochyłych.

Przy pomiarach dużych prędkości dla uniknięcia zbyt silnych wahań kolumn wody w manometrze, uniemożliwiających równoczesny odczyt poziomów w obu ramionach, należy również usunąć powietrze z rurek nad wodą i wypełnić tę przestrzeń jakąś cieczą cięższą, nie mieszającą się z wodą.

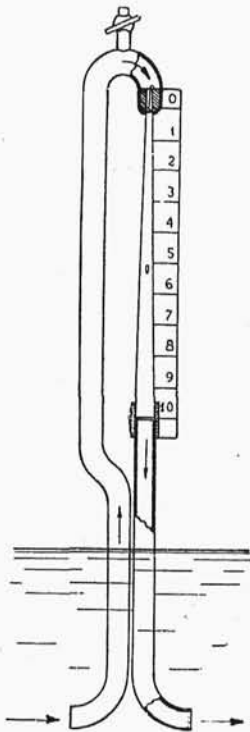
Opisane przyrządy służyć mogą do pomiaru prędkości w wodach czystych, a ze względu na łatwość uszkodzenia w czasie transportu użycie ich ograniczone jest przeważnie do pomiarów w laboratoriach wodnych i w rurociągach.

Do pomiarów małych prędkości wody w niewielkich głębokościach, spotykanych często przy badaniach modeli w laboratoriach wodnych, gdzie rozporządzamy niejednokrotnie głębokościami wynoszącymi zaledwie jednostki centymetrów, może posłużyć przyrząd skonstruowany przez Bentzla ¹²⁴⁾.

Instrument, pokazany schematycznie na rys. 287, składa się z rurki w kształcie odwróconej litery U, której obydwa dolne końce odgięte są pod kątem 90°, zaś prawe ramię rurki ma zwężający się ku górze szklany odcinek. Gdy przyrząd jest wypełniony całkowicie wodą (po wypompowaniu powietrza przez umieszczony w górze kurek) a dolne końce są umieszczone w wodzie stojącej, w rurce nie ma żadnego przepływu i umieszczony w prawym ramieniu pływak zajmuje położenie najwyższe, gdzie zatrzymuje go odpowiednio założony drucik.

Jeśli woda, w której zanurzono końce przyrządu, jest w ruchu, następuje pewne krążenie wody w rurce z szybkością zależną od prędkości płynącej w ko-

rycie (ścieku) wody. Przepływ wody wewnątrz przyrządu powoduje zepchnięcie pływaka w dół aż do tego miejsca rozszerzającego się odcinka rurki szklanej, w którym następuje zrównoważenie sił działających na pływak. Położenie pływaka (odległość od zera podziałki, umieszczonej na partii szklanej przyrządu) jest miarą prędkości przepływu wody, w której zanurzono spód rurki. Przyrząd taki musi być skalibrowany, co odbywa się przez przesuwanie go w stojącej wodzie z różną prędkością i określanie położenia pływaka. Z wyników doświadczeń oka-



Rys. 287.
Rurka Bentzla.

¹²⁴⁾ F. Falkner. The Bentzel velocity tube. Civil Engineering. 1935, Nr 4.

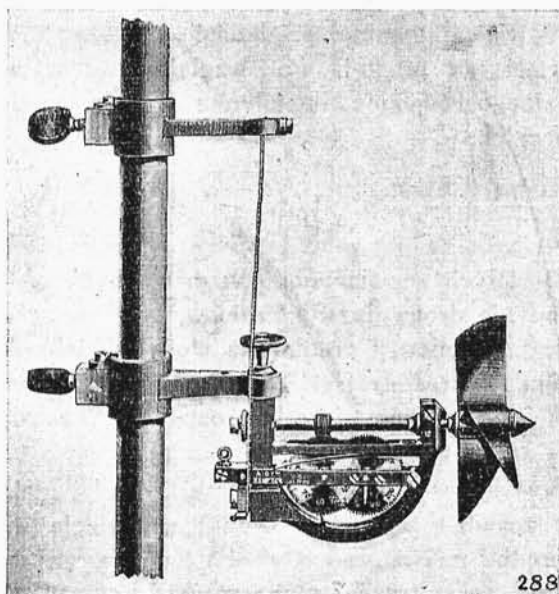
zało się, że najodpowiedniejsza zbieżność partii szklanej odpowiada kątowi 5^0 . Dokładność instrumentu (według doświadczeń przeprowadzonych przez U. S. Waterways Experiment Station) wynosi 1 ... 2%.

Zaletą instrumentu ma być szybkość pomiaru i możliwość natychmiastowego odczytu przy względnie dużej jego dokładności. Chociaż przyrząd stosowano z zadowalającym wynikiem przy prędkości dochodzącej do 2 m/sek, jednak najlepiej nadaje się on do mierzenia prędkości 0,05 ... 1,0 m/sek. Gdy młynek hydrometryczny, rurka Pitota oraz zwężka Venturiego wykazują największą dokładność przy większych prędkościach, rurka Bentzla może być używana do pomiarów bardzo małych prędkości przy zachowaniu tego samego stopnia dokładności.

5. Młynek hydrometryczny

1. Teoria młynka.

Pierwszym, który zastosował w roku 1790 młynek hydrometryczny do pomiaru prędkości, był Woltman, stąd też często przyrząd ten jest zwany skrzydełkiem lub młynkiem Woltmana. Pierwo-



Rys. 288.

Skrzydełko młynka hydrometrycznego na obracającej się osi poziomej,

wzór młynka uległ do czasu obecnego wielu zmianom. Obecnie najbardziej znane i używane są młynki wyrobu Otta (Kempten, Niemcy), Gansera (Wiedeń), Amslera i Stoppaniego (Zurych, Szwajcaria), Richarda (Francja), Price'a (St. Zjed. Am. Płn.).

Zasadniczą częścią młynka jest skrzydełko umieszczone w postaci śruby na lekko obracającej się poziomej osi (rys. 288). Skrzydełko wprawiane jest pod wpływem prądu wody w szybszy lub wolniejszy ruch obrotowy, zależnie od jej prędkości. Oś na swym drugim końcu posiada ślimak, który przenosi obroty skrzydełka na zębate kółko. Oś kółka włączona jest w obwód prądu elektrycznego. Obwód ten przy pewnym położeniu kółka jest zamknięty i wówczas następuje odpowiedni sygnał. Jednemu całkowitemu obrotowi zębatego kółka sygnalizacyjnego odpowiada zwykle 50 ... 100 obrotów skrzydełka.

Jeśli v oznacza prędkość wody, a n ilość obrotów młynka w jednostce czasu, to przy idealnych warunkach otrzymalibyśmy zależność

$$v = kn$$

gdzie k oznaczać będzie skok śruby (stanowiącej skrzydełko). W rzeczywistości — wobec poślizgu wody po skrzydełku, tworzenia się wirów, oporów tarcia, których pokonanie możliwe jest dopiero przy pewnej początkowej minimalnej prędkości — zależność nie przedstawia się w postaci tak prostej. Po uwzględnieniu wszelkich zakłóceń stanu idealnego równanie dla młynka daje się przedstawić w formie następującej ¹²⁵⁾:

$$v = \frac{a + a'}{2} + \frac{k + k'}{2}n + \sqrt{\left(\frac{a - a'}{2} + \frac{k - k'}{2}n\right)^2 + c^2} \quad (125)$$

Zawiera ono 5 stałych współczynników: a , a' , k , k' , c , które wyznaczyć można jedynie drogą doświadczalną.

Jeśli zależność między prędkością wody i ilością obrotów młynka przedstawimy wykreślnie (rys. 289), to otrzymamy wykres w formie hyperboli; jej asymptotami będą proste, których równania mają postać: $v = a + kn$ i $v = a' + k'n$.

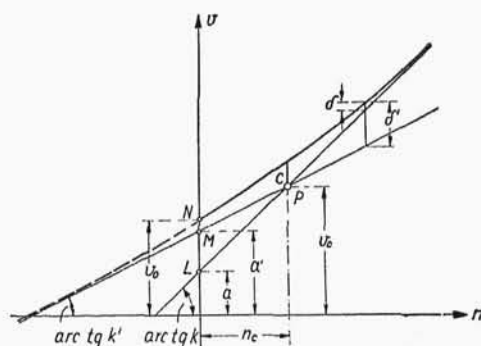
Asymptoty odcinają na osi v odcinki a i a' i mają nachylenie $k:1$ i $k':1$ w stosunku do osi n . Punkt przecięcia się asymptot, posiadający rzędne v_c i n_c , odległy jest od krzywej o c . Krzywa jest tym bliższa asymptot im mniejsza jest wartość c . Przy $c = 0$ zbiega się z nimi zupełnie. Jeśli a' jest równe lub mniejsze niż a , to punkt przecięcia się asymptot znajduje się na osi rzędnych lub po lewej jej stronie.

Praktycznie można zastąpić krzywą związku pomiędzy prędkością wody i ilością obrotów młynka dwiema lub jedną prostą (asympt-

¹²⁵⁾ L. A. Ott, Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flüßgels, Berlin, 1925.

tota). Równania asymptot dadzą nam wtedy zależności prostolinijne. Stałe wchodzące do wzorów wyznacza się doświadczalnie przy pomocy tak zwanego cechowania.

Odbywa się ono w wodzie stojącej przez ciągnięcie odpowiednio zawieszonego młynka z określoną prędkością. Obliczamy w ten sposób ilość obrotów młynka n dla różnych prędkości v . Wyniki obserwacji najlepiej zestawić na wykresie i przez otrzymane punkty



Rys. 289.

Zależność między prędkością wody i ilością obrotów młynka hydrometrycznego.

przeprowadzić wyrównującą prostą. Jeżeli wyrównanie chcemy przeprowadzić analitycznie i wyrachować w ten sposób wartość stałych a i k , wykonujemy to stosując metodę najmniejszych kwadratów.

Dla szeregu pomiarów otrzymujemy zależności:

$$v_1 = a + kn_1$$

$$v_2 = a + kn_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$v_n = a + kn_n$$

W równaniach tych znane jest v_1, v_2, \dots, v_n i odpowiadające im n_1, n_2, \dots, n_n . Z otrzymanych równań tworzy się dwa szeregi nowych równań otrzymanych w ten sposób, że najpierw mnoży się pierwsze równanie przez n_1 , drugie równanie przez n_2 , trzecie przez n_3 itd. (pierwszy szereg równań), a następnie mnoży się pierwsze równanie przez v_1 , drugie przez v_2 i następne kolejno przez v_3, v_4, \dots itd (drugi szereg równań).

$$n_1 v_1 = a n_1 + k n_1^2$$

$$v_1^2 = a v_1 + k v_1 n_1$$

$$n_2 v_2 = a n_2 + k n_2^2$$

$$v_2^2 = a v_2 + k v_2 n_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$n_n v_n = a n_n + k n_n^2$$

$$v_n^2 = a v_n + k v_n n_n$$

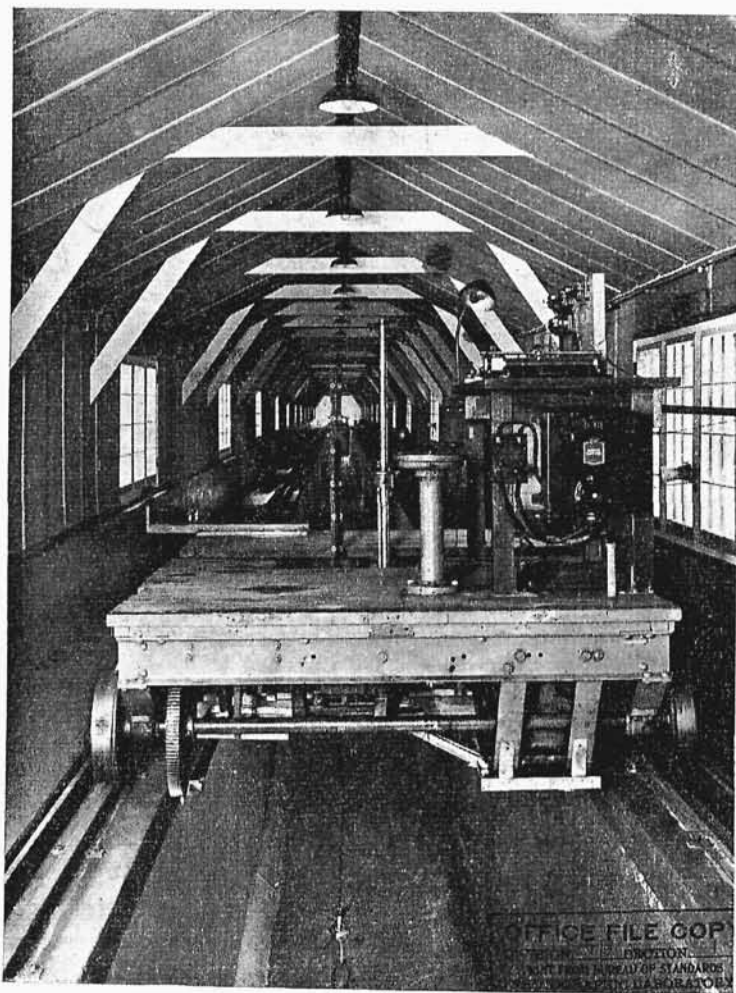
$$\Sigma(nv) = a \Sigma n + k \Sigma n^2$$

$$\Sigma v^2 = a \Sigma v + k \Sigma(vn)$$

Niewiadome stałe wartości, a i k obliczamy z równań:

$$a = \frac{(\sum v^2) (\sum n^2) - (\sum vn)^2}{(\sum v) (\sum n^2) - (\sum vn) (\sum n)}$$

$$k = \frac{(\sum v^2) (\sum n) - (\sum vn) (\sum v)}{(\sum vn) (\sum n) - (\sum v) (\sum n^2)}$$



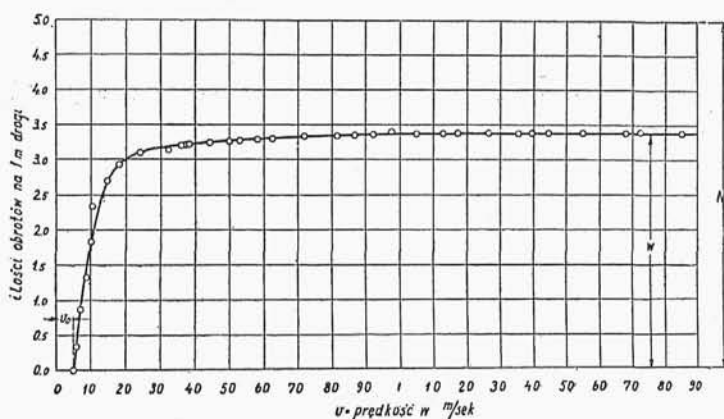
Rys. 290.

Urządzenia do cechowania młynków hydrometrycznych.

Notowania długości drogi, czasu, sygnałów obrotów odbywają się automatycznie (przy pomocy chronografu na odpowiednich paskach papieru). Zwykle cechowanie odbywa się w kanale w laboratorium.

Młynek zawieszony jest pod wózkiem, który jedzie po szynach. Na wózku mieszczą się wszystkie przyrządy rejestracyjne; na nim też ma swoje stanowisko obserwator (rys. 290). Długość przebytej drogi notowana jest następująco: na szynach są umieszczone w równych odstępach kontakty, zamykające obwód prądu elektrycznego przy przejeździe wózka nad nimi; w chwili, gdy koła wózka dotykają kontaktu, notowany jest odpowiedni sygnał. Wszystkie przyrządy są zsynchronizowane, tak że można z wykresów odczytać czas przejazdu i ilość obrotów młynka w tymże czasie.

Młynki hydrometryczne używane do pomiaru prędkości muszą posiadać charakterystykę wolną od nieciągłości, tak że przy cechowaniu, gdy ciągniemy młynek w stojącej wodzie, obserwowane odchyłki od charakterystycznej krzywej wynikają z wpływów drugorzędnych lub wskutek nieuniknionych błędów obserwacji.



Rys. 291.

Krzywa cechowania młynka hydrometrycznego.

Jeżeli oznaczmy przez:

v — prędkość toczenia się wózka w metrach na sekundę,

v_0 — najmniejszą prędkość wózka, przy której młynek zaczyna się obracać,

N — liczbę obrotów młynka na 1 metr przebytej drogi,

w — graniczną liczbę obrotów młynka na 1 metr przebytej drogi (przy dużych prędkościach),

n — liczbę obrotów młynka na sekundę,

K — współczynnik stały (wartość stała liczbowa),

to krzywa cechowania (rys. 291) daje się wyrazić przez równanie:

$$N = w \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^K \right] \dots (A),$$

ponieważ zaś

$$n = N v \dots (B)$$

więc otrzymamy ostatecznie

$$n = v w \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^K \right] \quad (126)$$

jako zależność do określania szybkości przepływu v z pomiaru n zakładając, że n zależy tylko od wielkości ruchu względnego skrzydełka względem wody.

Cechowanie należy przeprowadzić w takich granicach, by v_0 i w mogły być określone przez ekstrapolację przy pomocy krzywej skonstruowanej w przybliżeniu na podstawie pomierzonych wartości v i N , a więc z warunków:

$$\text{gdy } v = v_0 \quad \text{wówczas } N = 0;$$

$$\text{" } v = \infty \quad \text{" } N = w.$$

Wartość stałą K można obliczyć jako średnią arytmetyczną wartości, które otrzymamy z zależności

$$K_l = \frac{\log \frac{w - N_l}{w}}{\log \frac{v_0}{v_l}},$$

a zatem

$$K = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^{l=m} K_l$$

gdzie m oznacza wszystkie odpowiadające sobie wartości v i N użyte do obliczeń. Im młynek ma większą wartość K , tym większy zakres prędkości można objąć pomiarami takiego młynka. Jeżeli otrzymujemy $N_l \geq w$ lub $v_l \leq v_0$, to równania (126) stosować nie można, należy rozłożyć związek na poszczególne proste (jak objaśniono wyżej) i wyrównać szereg spostrzeżeń metodą najmniejszych kwadratów.

Jeżeli obliczyliśmy K , to równanie (126) może posłużyć do określenia odpowiadających sobie wartości n_l i v_l , oraz do ich zestawienia w tabeli lub na wykresie, jako związku krzywoliniowego lub (jak to jest ogólnie przyjęte) jako związku paru prostych.

Obliczając z równania (A) wartości N_l , odpowiadające wartościom v_l , oraz odchyłki od zmierzonych wartości N i wykreślając te odchyłki nad v jako odcinki rzędnych, otrzymujemy obraz błędów spowodowanych drugorzędnymi wpływami i ewentualnymi wadami konstrukcji młynka.

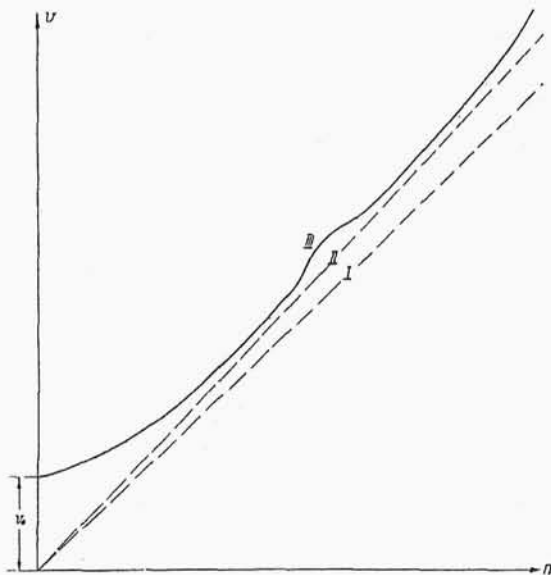
Z równania (A) przy $K = \infty$ wypada $N = w$; oznacza to, że działanie młynka jest tym bardziej podobne do działania śruby, im K jest większe. To właśnie decyduje o dobroci młynka.

Jeżeli v_0 i w nie mogą być określone z wystarczającą dokładnością, to należy zastosować metodę rozłożenia związku na kilka równań linii prostych. W tym wypadku powinien być każdy młynek używany w tym obszarze prędkości, w obrębie którego przeciętne odchyłki (określone co najmniej z 4 obserwacji krzywej cechowania) od wyrównanej funkcji nie przekraczają następujących wartości:

obszary prędkości	przeciętne odchyłki
0,25 0,5 m/sek	$\pm 0,70\%$
0,5 1,0 "	$\pm 0,45\%$
1 2 "	$\pm 0,30\%$
2 10 "	$\pm 0,20\%$

Przeciętne odchyłki (średnie arytmetyczne) należy obliczyć dla każdego obszaru ze wszystkich (lecz co najmniej 4) posiadanych pomiarów cechowania.

Obszerne badania nad młynkami hydrometrycznymi przeprowadził Strickler¹²⁶); doprowadziły go one do następujących wniosków



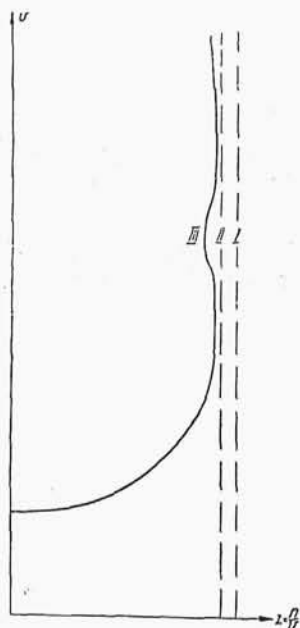
Rys. 292.

Zaburzenia w krzywej cechowania młynka hydrometrycznego, wynikające z powodu małej głębokości kanału.

¹²⁶) A. Strickler, Untersuchungen über hydrometrische Flügel. Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft, Bern. 1926.

1. Przy małych prędkościach wpływy tarcia w łożyskach i wiry tworzące się na krańcu śruby oddziałują względnie dość silnie. Wynika z tego zmniejszenie się ilości obrotów w stosunku do liczby idealnej.

2. Z rysunku 292 widoczne jest jeszcze inne zakłócenie, które zmniejsza się przy zwiększającej się prędkości. Według krzywej II ilość obrotów młynka, umieszczonego na rurze o pewnej grubości, pozostaje mniejsza od wartości idealnej (wyrażonej linią I), która dotyczy młynka umocowanego na rurze nieskończenie cienkiej. Stosunkowo gruba rura wywołuje zaburzenia, które powodują zmniejszenie się ilości obrotów młynka.



Rys. 293.

Zaburzenia w krzywej cechowania młynka hydrometrycznego, występujące przy dużych prędkościach.

3. Jeśli przeprowadzać cechowanie młynka w kanale o niewielkiej głębokości (około 1 m), to występuje dodatkowe jeszcze, prócz wymienionych, zaburzenie powodujące wybrzuszenia krzywej (krzywa III na rys. 292). Ponieważ przy przeprowadzaniu cechowania w kanale przy tej samej głębokości i w podobnych warunkach, lecz przy umieszczeniu młynka na rurze poziomej, wybrzuszenie to prawie znika, można wnioskować, że omawiany rodzaj zaburzenia wywołany jest głównie rurą pionową, do której przymocowany jest młynek.

4. Często przy dużych prędkościach (powyżej 4 m/sek, a czasami już przy 3 m/sek) obserwuje się wgłębienie linii n w kierunku osi v (rys. 293). Zaburzenie to nie ma żadnego związku z wymienionym pod 3) i występuje tylko przy prędkości większej.

Przy cechowaniu należy zwrócić uwagę na wymienione powody zmniejszania się ilości obrotów i wyznaczyć wielkość poszczególnych odchyłek lub odpowiednie współczynniki.

2. Błędy przy pomiarach młynkowych.

Dokładność pomiaru młynkowego zależy od następujących czynników:

1) Od wyboru miejsca. W profilu powinien istnieć ruch jednostajny.